

Elméleti biológia és termodinamika

34 évvel ezelőtt jelent meg a Szovjetunióban Bauer Ervin magyar származású tudós *Elméleti biológia* című műve, amelyben a szerző a biológia általános alapkérdéseire próbált válaszolni. Bauer Ervinről, Balázs Béla testvéréről és Kaffka Margit férjéről keveset tud a magyar közönség. Életútja szemléletesen példázza a XX. század első felében élő, szellemi szabadságra és alkotásra vágyó magyar értelmiségiek sorsát. A fasizmus elől emigrációba kényszerült tudós, magáénak vallva a dialektikus materializmus tanításait, tudatosan választotta az egyetlen létező szocialista országot második hazájául. Ezért olyan tragikus, hogy 1940-ben ő is a személyi kultusz áldozata lett.

Elméleti biológiáját 1967-ben adták ki magyar nyelven. Ezt a ma is korszerű művet szerzője egy általa hiányosan ismert nyelven (oroszul) írta, és sajnos a magyarra fordítás sem a legjobban sikerült. Ezért a bonyolult mondatnyi szerkezetű meghatározásokkal telített könyv rendkívül nehezen olvasható. (Idézeteinket mi sem szó, hanem inkább értelem szerint vettük belőle át.)

Bauer biológiai megfontolásainak alapját termodinamikai szempontok képezték; az élő szervezeteket ilyen módon igyekezett körülhatárolni és mozgásaikat értelmezni. A biológiai struktúrák molekuláris szintű ismeretének és a modern, nem egyensúlyi termodinamikának hiánya azonban erősen gátolta törekvéseit. E tudományágak korunkbeli fejlődése alapján érdemes Bauer gondolataival újra foglalkozni.

Elemmezve az elméleti tudományok általános jellemvonásait, Bauer Ervin igen fontos feladatának tekinti az elméleti biológiai szükségességének és létjogosultságának bizonyítását. „Elméleti tudományról akkor beszélhetünk — írja —, ha a tudományág összevont tapasztalatai alapján a folyamatokra általános, absztrakt törvényszerűségeket állapítunk meg, és a jelenségeket ezek speciális eseteinek tekintjük.”

Próbáljuk meg kibővíteni ezt a gondolatot, és kissé részletesebben jellemezni az elméleti tudomány feladatait.

1. Az elméleti tudománynak meg kell adnia a vizsgált mozgásforma általános, dinamikus alapelveit és axiómáit. Ezeknek nem az egyes részletmozgásokra kell vonatkozniuk, hanem meg kell szabniuk az adott mozgásformában működő valamennyi rendszer mozgási tendenciáját.

2. Meg kell szerkesztenie az adott mozgásformában mozgó rendszerek lehetséges modelljeit. Az elméleti tudományban sohasem csak magát az objektumot, hanem mindig annak valamilyen szintű modelljét vizsgáljuk.

Három alapvető modellezési forma lehetséges: statikus, kinetikus és dinamikus. Ezek a megismerés különböző mélységeit és oldalait képviselik. A statikus modell „valódi modell” is lehet, azaz a vizsgált objektum szerkezetét a kívánt részletességgel mutatja be, míg a dinamikus forma mindig absztrakt, elméleti összefüggéseket is tartalmaz. A szinteket — durván — egy gőzmozdony példájával szemléltethetjük. Ennek szerkezete — fogaskerekei, dugattyúi — képezi statikáját, az alkotórészek bonyolult mozgásai a kinetikát, és ha rájövünk arra, hogy az egész a gőz ereje mozgatja, akkor jutottunk el a dinamikához, a rendszer teljes megismeréséhez.

3. Az elméletnek kinetikus összefüggéseket kell meghatároznia a dinamikus elvek adott struktúrára való alkalmazásával. A kinetikus összefüggéseknek önálló szerepük nincs, hiszen a struktúra és a dinamika egyértelműen meghatározza a kinetikát. Általában azonban történetileg előbb kialakulnak, mint maga az átfogó elmélet, és annak állandó kontrollját képezik. Jelentőséget nyernek az egyes dinamikai szintek összekapcsolásánál is. Egy alacsonyabb mozgásforma kinetikája ugyanis egy magasabb

mozgásforma szempontjából statikának tekinthető. Jól példázza ezt a kvantummechanika és a klasszikus fizika viszonya. Bár a testek tulajdonságait mikrorészecskéik állapota határozza meg, mégsem kell tudnunk — Fényes professzor hasonlata szerint — az Erzsébet-híd Schrödinger-egyenletét felírni ahhoz, hogy kiszámíthassuk mechanikai jellemzőit.

Az egyes tudományágak történeti fejlődésére jellemző, hogy előbb a megfigyelések hatalmas sorozatával felderítik objektumaikat, felismerik a közöttük fennálló oksági kapcsolatokat, leírják azok törvényszerűségeit, majd kidolgozzák általános, dinamikus alaptörvényeiket — megalkotják elméletüket.

A biológia az élő rendszerek mozgásaival foglalkozó tudomány. Ezek a mozgások két különböző szinten játszódnak le. Az egyik az örökletes anyag, a DNS kódrendszerének lefordítási folyamatán alapul. Ez magában foglalja az élőlények kifejlődését és az egyedi életet képező folyamatok összességét. A másik, az előbbivel szoros kapcsolatban álló szint a DNS-struktúra variálódásának eredményeként létrejövő evolúciós mozgás.

A Bauer Ervin által követelt elméleti biológia feladata az lenne, hogy az élő szervezetek sajátos folyamatait egységes rendszerbe foglalja össze, majd ennek alapján kidolgozza fejlődésük szükségszerűen érvényesülő, statisztikus jellegű történeti törvényszerűségeit.

Bauer Ervin szerint „Az evolúció elméletének modern formája semmilyen következtetést nem enged meg arra vonatkozóan, hogy milyen élőlények jelenhetnek meg vagy milyen élőlényeknek kell megjelennie egy bizonyos történeti időszak meghatározott feltételei között. Arra sem kapunk magyarázatot, hogy a megjelent új alakok mennyiben és milyen irányban különböznek szükségszerűen elődeiktől.” Bauer, aki már 30 évvel ezelőtt a véletlenszerű mutációk elvén alapuló modern fejlődéelmélet híve volt, paradox képet mutat be: „A modern evolúcióelmélet feltételezi és megalapozza az élőlények történetét, ugyanakkor elvileg tagadja e történet törvényeinek létezését. A véletlen momentuma egyeduralkodóvá válik benne, elfedve a törvényszerűség mozzanatát.”

Ez a megállapítás lényegében ma is érvényes. Oka az, hogy „a genetika kizárólag az élő anyag azon speciális törvényeit tudja felhasználni, amelyeken az öröklődés mozgásai alapulnak, és nem alkalmaz olyan átfogó törvényeket, amelyeket a fiziológia, fejlődésmechanika stb. tapasztalatainak absztrakciója útján nyerhetünk”. Bizonyára igaz Bauer megállapítása: „A történetileg szükségszerű, törvényszerű, az egyesén és a véletlenül keresztül megnyilvánuló mozzanatok nem lehet felismerni, megragadni és materialista módon magyarázni, ha nem az élő anyagra jellemző, általános mozgástörvények alapján vizsgáljuk azokat.”

A konzekvens biológiai elmélet megalkotásának alapvető problémája a megfelelő modell és a dinamikus alapelvek kialakítása. Egyiket sem tekinthetjük elsődlegesnek és önmagában megoldhatónak, hiszen dinamikus modellt csak az alapelvek biztos ismeretében készíthetünk, míg elveket csak modell segítségével tudunk kialakítani. Az összetett probléma megoldását a tapasztalatok szigorú figyelembevételével létrehozott alapelv-modell-komplexum képezheti, amely így végeredményben nem lehet majd valami eddig ismert modell, hanem csak „a dinamikus biológiai modell”.

Feltételeink megvalósítása alapjaiban és kiindulásában jelentősen különböző módokon lehetséges.

a) Az egyik feltételezett út az élő objektumok struktúrájának folyton tökéletesedő megismerésén alapszik.

Ma a biológia legmodernebb és leggyorsabban fejlődő ága, a molekuláris biológia uralkodó szerepet kapott az egész tudományágban. A struktúrák egyre pontosabb megismerése, az összefüggések zseniális kísérletekkel való tisztázása és az a tény, hogy a biológiai folyamatok alkotórészei lassan mesterséges úton is előállíthatóak lesznek, magával ragadja a megfigyelőt. Fontos azonban felhívni a figyelmet arra, hogy a kinetikus jellegű molekuláris modellek nem lehetnek általános, elméleti biológiai érvényűek. A struktúra és a hatások molekuláris összefüggéseinek feltárása csak akkor vezethet az élő anyag lényegi megismeréséhez, ha azon dinamikus szemlélet épül fel.

„A szerkezet, a fejlődés és az életjelenségek leírásával végeredményben csupán az élő anyag általános mozgástörvényeinek eredményeihez jutunk el, nem magukhoz az illető törvényekhez.” „Általános összefüggéseket kell keresnünk az élő anyag mozgásában, amelyek annak bármily változatos, valamennyi megjelenési formájában érvényesek maradnak.”

A biokémiai alapok megismerése azonban — egy egyre jobban érvényesülő vélemény szerint — összefoglaló elmélet kialakítására is alkalmas. Eszerint minden biológiai mozgás dinamikájának kulcsát maguknak a molekuláknak mozgási dinamikája, a molekulákon belüli és azok közötti erők kölcsönhatásai, a kvantum-elektrodinamika törvényei adják. Ha tehát ismerjük az élőlények pontos molekuláris szerkezetét, a kvantum-elektrodinamika elméletének következetes alkalmazásával eljuthatunk az életjelenségek alaptörvényeihez. Ez a feltételezés több oldalról is támadható:

1. Az egymással kölcsönhatásban levő objektumok várható és lehetséges mozgásainak leírása már két vagy három szereplő tag esetén is igen komoly matematikai probléma. Az összetevők oly nagy számánál, ami egy biológiai objektumra jellemző, a matematikai megfogalmazás fantasztikus nehézségei megsokszorozódnak. Ennél is fontosabb azonban az a veszedelem, hogy a lehetőségek hatalmas kombinációjában a megengedett változások száma végtelenül nagy lesz, a matematikai rendszer kezelhetetlenné válik és mozgások lényegi tulajdonságairól nem tudósít.

2. A mikroállapotokra vonatkozó statisztikus összefüggések makroszkópos szinten nem feltétlenül lesznek egyértelműen érvényesek. A mikro világban esetleg létező lényegi összefüggés eltűnhet vagy jelentőségét vesztheti egy makroszkópos szemléletben.

3. Ha egyes objektumok megismerésében valóban járható is lenne ez az út, a struktúrák nagy változatossága miatt akkor sem várható, hogy alapot adna általános törvények kialakítására.

b) Az összefoglaló biológiai elmélet kialakításának másik formája a termodinamikai szemléleten alapuló modellezés lehet. Ez az elképzelés a gyakran használt, de kevésbé definiált biológiai fogalmak egzakt körülhatárolását a szervezetek energetikai viszonyainak pontos feltérképezésével igyekszik elérni. Az élő rendszerek legsajátosabb működésének — a környezettel folytatott anyagcserének — általános és csak az élőlényekre jellemző mozzanatait kiemelve próbálta Bauer is az élet fogalmát új módon megközelíteni.

A kibővített engelsi meghatározás: „Az élet a fehérjetestek és nukleinsavak létezési módja, amely a környezettel folytatott anyagcserén alapul” — kétségtelenül időtállóan érvényes. Nem zárja ki azonban annak lehetőségét, hogy új szempontból is mondhassunk ítéleteket, és minél több oldalról felállítsuk azokat a határokat, amelyek e lényeges alapfogalom értelmezési tartományát megszabják. Bauer Ervin „állandó inaequilibrium”-nak nevezett modellje — a környezet megváltozásaival szemben saját belső paramétereit dinamikus módon fenntartó rendszer képe — ilyen új és jól használható körülhatárolási mód. Mivel azonban az eredeti műben ez nem egy matematikailag jól megfogható objektum, azokra a következtetésekre, amelyeket Bauer igyekszik levonni, csak kibővítve és átformálva adhat alapot.

Bauernak az az elképzelése, amely szerint termodinamikai alapokon megismerhetőnek véli az élő rendszerek legkülönbözőbb mozgásait, beleértve fejlődésük törvényeit is — véleményünk szerint jogos, és ma, a modern nem egyensúlyi termodinamika kidolgozása nyomán megvalósíthatóvá válik.

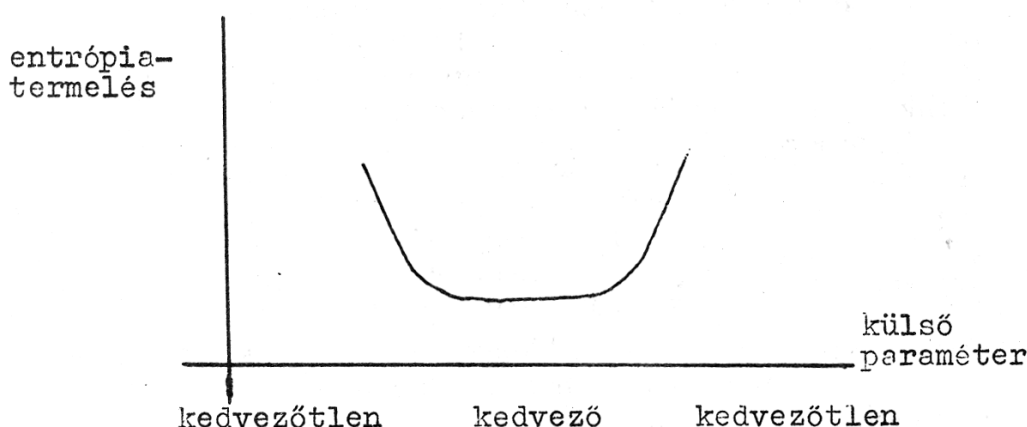
Az 1930-as években a norvég fizikokémikus, Onsager ismerte fel, hogy a legkülönbözőbb transzportok közös alapon tárgyalhatóak, mivel közöttük az ún. „kerezteffektusok” állandó jellegű és egyszerű matematikai eszközökkel leírható összefüggést képeznek. Törvényei alapján sikerült századunk második felében általános és összefoglaló termodinamikai elméletet felépíteni. (Az 1968-ban Nobel-díjat kapott Onsager mellett nagy szerepe volt ebben többek között Prigogine-nak és a magyar Gyarmati és Fényes professzoroknak is.)

Az elméleti termodinamika központi helyzetű megállapításának tekinthetjük a stacioner rendszerek entrópiatermelésének minimalizálódási törvényét. A különböző transzportfolyamatokból összetevődő, környezetükkel kölcsönkapcsolatban

álló — nyílt jellegű — stacioner rendszerekre jellemző, hogy bennük az entrópia-produkció minimuma áll fenn. Megzavarásuk esetén is ennek az egyensúlynak helyreállítására törekszenek, azaz ezek az élettelen objektumok termodinamikai stabilitásra képesek.

A makroszkópos biofolyamatok is transzportok komplexumaiként alakulnak ki. Bár stacionernek csak azt a rendszert nevezzük, amelyben a transzportok időben nem változnak, mégis felállíthatunk egy megfeleltetést az ismertetett termodinamikai jelenség és az élő szervezetek stabilizációs törekvései között. A stacioneritás az élettelen nyílt rendszereknél is csak a kedvező alapállapot, amely a transzportok reguláló megváltozásainak alapján jön létre. Az élőlények egyes transzportfolyamatai ehhez hasonlóan éppen úgy változnak, hogy egy másik mozgást kompenzáljanak, az „egész” stabilitását biztosítsák.

Amennyiben tehát feltételezzük, hogy az élőlények környezetükkel kapcsolatban álló, nyílt jellegű stacioner rendszerek képevel közelíthetők meg, sajátos belső egyensúlyuk mértékét entrópiatermelésük minimumával jellemezhetjük.



Az élő szervezetek működése ezek szerint olyan irányú, hogy a környezet minden változására entrópiatermelésük minimális értéken tartásával igyekeznek reagálni. Erre a funkcióra a külső zavarások bizonyos határáig képesek; ezt a területet nevezhetjük az élőlények „plató”-jának, életlehetőségi terének. Ha a külső paraméterek értékei adott határon túlnőnek, a rendszer nem képes stabilizációs funkcióit fenntartani, és bekövetkezik strukturájának bomlása. A grádiensek emelkedésével az entrópiatermelés is rohamosan nő, majd az élő szervezet pusztulásával paraméterei teljes mértékben a környezet változásait követik.

Az életjelenségek e termodinamikai körülhatárolásának lehetősége egyelőre csak feltételezés, létezése azonban jelentős következtetésekre adhatna alapot. Leglényegesebb, hogy kerettörvény jellegénél fogva a biológiai mozgások mindkét ismertetett szintjén alkalmazható lenne. Az egyedi lét lehetőségének kvantitatív meghatározása mellett az evolúciós mozgásokban is szelektív erőként szerepelne. Megszabja az élőlények fejlődési tendenciáját, mivel a mutációk során létrejövő változatok életben maradását vagy pusztulását egyértelműen meghatározza „plató”-juk és a környezeti paraméterek viszonya.

Hasonló jellegű elképzeléssel találkozhatunk E. Schrödinger 1943-ban megjelent *What is Life* (Mi az Élet) című művében is, amelyben a modern fizika biológiai alkalmazásának lehetőségeit próbálta vázolni. Feltételezte itt, hogy a környezet állandó entrópiatermelésével szemben az élőlények valami „negatív entrópiát” termelnének, azaz működésüket minél kisebb entrópiatermeléssel — minél gazdaságosabban — végeznék.

Ismertetett modellünkkel sokban eleget tennénk a baueri követelményeknek, hiszen az élőlények folyamatainak általános törvényeiből tudnánk levezetni történeti mozgásaikat.

Gondolatainkat elsősorban arra szánjuk, hogy felhívjuk a figyelmet a téma megoldatlanságára és a megoldások korunkban megnyíló lehetőségeire.